

ОТЗЫВ

официального оппонента, д-ра техн. наук А.Ф. Серова на диссертацию

Титова Виталия Михайловича

«БЫСТРЫЙ ОДНОКООРДИНАТНЫЙ ДЕТЕКТОР

ГАММА-КВАНТОВ»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

Научно-квалификационная работа Титова Виталия Михайловича посвящена решению актуальных задачи, имеющей существенное значение для решения задач рентгеноструктурного анализа в твердом теле при высоких градиентах давления, температуры и концентрации реагентов, которые обуславливают высокие скорости реакции и локализацию зоны реакции размером нескольких микрон. Примером может служить изучение химических реакций в процессе сокращения живой мышцы. Получение информации о параметрах реакций в режиме реального времени позволяет значительно расширить понимание биохимических процессов в живых организмах. При этом благодаря пониманию функциональной связи между характеристиками химических реакций появляется возможность управлять этими процессами.

1.Актуальность темы исследования и ее связь с практикой и развитием науки и техники.

Рентгеноструктурный анализ основан на регистрации в одной или двух координатах распределения интенсивности излучения, прошедшего через исследуемый образец. Особое место в настоящее время занимает исследование нанообъектов, параметры которого быстро изменяются, например, в результате локальной химической реакции при детонации. Локальные высокие градиенты концентрации реагентов, давления и температуры обуславливают высокие скорости реакции и локализацию зоны реакции до объемов диаметром в нескольких микрон.

В этой связи для проведения подобных экспериментов исследователям требуются одно- и двухкоординатные детекторы с большим динамическим диапазоном ($>10^4$), дифференциальной нелинейностью $\sim 0,2\%$, с высоким координатным разрешением (10^{-4} м) в широком диапазоне углов ($\sim 10^\circ$), высоким быстродействием (10^7 Гц) и эффективностью регистрации ($\sim 50\%$). В работе Титова В. М. на примере исследований в ИЯФ СО РАН показано, что к числу наиболее эффективных детекторов для высокоскоростного

рентгеноструктурного анализа применим однокоординатный детектор с апертурой не менее 200 мм.

2. Цель научного исследования – анализ параметров существующих детекторов и создание нового быстрого, свободного от параллакса, обладающего высокой эффективностью регистрации однокоординатного рентгеновского детектора для дифракционных экспериментов с использованием рентгеновских трубок и синхротронного излучения (СИ). Аппаратно-программный комплекс детектора должен позволять легко модифицировать разрабатываемое устройство для экспериментов в режиме рентгеновской дифракции на нанопорошках и в режиме рентгеновского рассеяния на малые углы.

3. Научные результаты в рамках требований к научной значимости и новизны.

В работе Титов В.М. для решения поставленных задач на основе анализа существующих методов и приборов выбрал и обосновал способ построения многоканального однокоординатного детектора гамма-квантов с вычисляемым номером канала, разработал и реализовал новую методику определения координат регистрируемых гамма-квантов, вычисляемых по интенсивности номерных каналов. Впервые в детекторе с вычисляемым номером канала получена малая дифференциальная нелинейность шкалы в сочетании с высокой скоростью регистрации фотонов.

Для решения поставленных задач, Титов В.М. определил метрологические и технические характеристики детектора, удовлетворяющие сформулированным требованиям, разработал оригинальный алгоритм оптимального взаимодействия узлов комплекса, создал программные средства обработки данных и структуру удобного пользовательского интерфейса.

Предложил и реализовал модифицированный метод «центра тяжести», позволяющий вычислять истинные координаты событий по сигналам с трех катодных полосок с точностью, существенно лучшей их физических размеров.

Особое место в работе занимает метрологическое обеспечение детектора, включая процедуру поверки, методику калибровки и применения детектора при проведении экспериментов.

В результате проделанной работы создан современный инструмент для изучения кинетики химических твердофазных реакций в широком диапазоне скоростей. Созданные Титовым В.М. современные детекторы широко используются в качестве основного инструмента на станциях Сибирского

центра синхротронного и терагерцового излучения при исследовании структуры и фазового состава материалов при воздействии быстрых изменений температуры, процессов химических твердофазных реакций.

4. Содержание работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и пяти приложений. Материал работы изложен на 81 странице, включает 44 рисунка и список литературы из 30 наименований.

Во введении дается обзор основных методик применения рентгеновского излучения и наиболее значимые области его применения. Показано, что большая часть методик связана с регистрацией распределения интенсивности прошедшего через образец излучения. Особо отмечено исследования быстрых процессов в режиме реального времени в твердотельных объектах. В этой связи Титов В.М. указывает на важность и необходимость создания быстрых однокоординатных детекторов.

В первой главе диссертант определяет требования к основным параметрам однокоординатного рентгеновского детектора: разрешение ~ 150 мкм, апертура ~ 200 мм, время цикла $\sim 0,1$ мкс при эффективности регистрации $\sim 50\%$, время регистрации кадра ~ 1 мсек.

Краткий обзор существующих детекторов позволил автору обосновать выбор схемы построения детектора на основе работы пропорциональных камер и применения принципа «вычисляемого канала», позволяющего значительно уменьшить количество «физических» каналов без потери разрешающей способности детектора.

Во второй главе приводится структура созданного автором однокоординатного регистратора гамма-квантов ОД-3М в составе: регистрирующий блок однокоординатного сенсора с узлом съема и первичной аналоговой обработки сигнала с пропорциональной проволочной камеры с катодным съемом информации. Приведенное автором диссертации краткое описание параметров созданного детектора, схемные решения блока обработки сигнала с электродов пропорциональной камеры и способ определения координаты дает ясное представление о высоком уровне принятых решений.

В третьей главе Титов В.М. приводит основные требования к аппаратно-программному комплексу, которые были реализовать при создании регистратора. Дается обоснование алгоритма вычисления истинной координаты точки конверсии фотона «модифицированным методом центра тяжести». Обосновано преимущество примененного метода и определены уточненные требования к регистрирующему узлу детектора, электронным устройствам и быстродействию вычислителя.

В четвертой главе приводятся результаты анализа быстродействия выбранной схемы электронного тракта обработки сигналов, влияния шумов на координатное разрешение детектора.

В пятой главе описываются способ выделения и метод отбора событий с пропорциональной проволочной камеры по амплитуде сигнала, времени и координате. Приводятся параметры фильтрации события и алгоритм вычисления координаты. Особое внимание в работе уделено примененной методике калибровки детектора. Для получения данных, необходимых для вычисления поправочных таблиц калибровочных коэффициентов, автор использует засветку детектора от источника с равномерным распределением квантов по координатам. Принятый метод позволил обеспечить допустимую величину интегральной и дифференциальной нелинейностей шкалы детектора.

Шестая глава посвящена экспериментальному исследованию свойств созданного детектора, его разрешению, определению интегральной и дифференциальной нелинейности, приводятся результаты измерения физического координатного разрешения. Использование в качестве гамма - источника пучка СИ с $\sigma < 50$ мкм позволило подтвердить координатное разрешение $\sigma \approx 100$ мкм. Оценка величины интегральной нелинейности выполнялась по гистограмме от корунда. Показано, что максимальное отклонение реальной характеристики преобразования составляет ~ 2 канала, что соответствует интегральной нелинейности менее 0,1% на всей шкале детектора. С учётом вклада статистической погрешности дифференциальная нелинейность детектора σ_{DNL} не превышает 0,2%.

В заключении перечислены основные результаты работы, которые выносятся на защиту:

1. Выработана концепция высокоскоростного однокординатного детектора.
2. Разработан способ вычисления координат гамма- квантов «модифицированным методом центра тяжести».
3. Разработаны алгоритмы работы функциональных узлов детектора.
4. Разработана электроника детектора, написана управляющая программа составлена пользовательская документация.
5. На детекторе с фокусным расстоянием 1000 мм измерены все основные характеристики.
6. По разработанной документации изготовлено пять детекторов, которые установлены на современных станциях синхротронного излучения и обеспечивают уникальные научные результаты.

5. Степень обоснованности и достоверности каждого результата, вывода и заключения соискателя, сформулированные в диссертации.

Выводы, сделанные в диссертационной работе Титова В.М., достаточно обоснованы и убедительны. Экспериментальные исследования проведены на современных установках с привлечением оригинальных методик. Достоверность и надежность результатов не вызывает сомнений, они воспроизводимы и в ряде случаев подтверждены независимыми исследованиями. Используя в работе опыт применения синхротронного

излучения для исследования структуры веществ, современные методы и аппаратные средства определения координаты точки конверсии рентгеновского излучения, выполняя физический и технический эксперимент, пользуясь принципами прикладной метрологии, Титов В.М. создал новый детектор. Детектор, построенный на принципе «вычисляемого канала», обладает повышенной разрешающей способностью. Титов В.М. в основу разработки метрологического обеспечения положил результаты теоретических исследований погрешностей от технических средств (шумы сенсора, усилителей, АЦП). Особое значение в работе занимает реализация разработанного образца детектора и широкое внедрение в исследовательскую практику.

Основные результаты работы апробированы на международных и национальных конференциях, также опубликованы в российских и зарубежных журналах, список приведен в перечне опубликованных автором работ.

По теме диссертации опубликовано 14 научных работ в изданиях, определенных перечнем российских рецензируемых научных журналов и изданий.

7. Недостатки по содержанию и оформлению.

Диссертационная работа не лишена недостатков, причем это касается как оформления, так и существа работы. Можно указать следующие основные замечания:

- Незначительная часть работы (~8 стр.) посвящена анализу характеристик широко применяемых детекторов для решения задач рентгеноструктурного анализа. Для обоснования разработки нового детектора, Титов В.М., очень кратко анализирует модель исследуемого объекта и определяет требования к новому регистратору с позиции возможности современных электронных средств.
- Не показан диапазон применимости разработанного линейного детектора по классам исследуемых образцов. Например, с помощью детектора ОД-3М-700А в Институте кристаллографии выполнены исследования широкого круга образцов (стр. 56), но, кроме ссылки на список организаций-заказчиков, не приведены результаты исследований, которые демонстрируют свойства примененного детектора.
- На странице 24 указывается на значительную нестабильность коэффициента газового усиления и на необходимость построения алгоритма, максимально подавляющего влияние этой нестабильности. Не

показано, какой вклад в нестабильность дает скорость пульсаций газового усиления и дрейф координаты точки конверсии рентгеновского излучения. Описание применённого метода не дает полного представления о реализованном алгоритме.

Однако, указанные замечания не снижают значимости проведенных исследований. Таким образом, диссертация Титова Виталия Михайловича является законченным и выполненным на современном научном уровне научным исследованием.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Наряду с общей характеристикой работы дано краткое содержание каждой главы.

В целом, диссертационная работа Титова Виталия Михайловича «БЫСТРЫЙ ОДНОКООРДИНАТНЫЙ ДЕТЕКТОР ГАММА-КВАНТОВ» является квалифицированным научным трудом, в полной мере отвечающим требованиям п. 7 Положения ВАК Минобрнауки РФ о порядке присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий, а её автор – Титов Виталий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор,
гл. н. с. ИТ СО РАН

А.Ф. Серов

Подпись д-ра техн. наук Серова Анатолия Федоровича удостоверяю.
Ученый секретарь ИТ СО РАН,
Д.ф.-м. н.



П.А. Куйбин
23 апреля 2014г

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
Лаборатории проблем энергосбережения
ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

Почтовый рабочий адрес: 630090, г. Новосибирск,
проспект Академика Лаврентьева, д. 1.
Рабочий телефон: 8(383) 330-64-66.
Электронный адрес: serov@itp.nsc.ru